

Karel VOJTASÍK¹, Eva HRUBEŠOVÁ², Marek MOHYLA³, Jana STAŇKOVÁ⁴

**ZÁVISLOST MODULU PRUŽNOSTI A PŘEROZDĚLOVACÍCH NAPĚŤOVÝCH
KOEFCIENTŮ OCELOBETONOVÉHO PRŮŘEZU NA ROZLOŽENÍ OCELOVÝCH PRVKŮ
V PRŮŘEZU**

**DEPENDENCY OF ELASTIC MODULUS AND STRESS REDISTRIBUTION COEFFICIENTS
ON A LAYOUT OF STEEL REINFORCEMENT IN STEEL-CONCRETE CROSS SECTION**

Abstrakt

Článek uvádí výsledky výpočtové parametrické studie, zkoumající vliv stupně a způsobu vyztužení ocelobetonového průřezu na výpočtovou hodnotu modulu pružnosti homogenizovaného průřezu a na hodnoty přerozdělovacích napěťových koeficientů. Homogenizovaným průřezem je ocelobetonová výztuž reprezentována ve výpočtech. Napěťové přerozdělovací koeficienty slouží k přepočtu stavu napětí v homogenizovaném průřezu na stav napětí v ocelových prvcích a ve stříkaném betonu. Výpočty modulu pružnosti homogenizovaného průřezu a hodnoty přerozdělovacích napěťových koeficientů jsou provedeny metodou, která je založena na teorii spolupracujících prstenců výpočtním programem HOMO. Výsledkem parametrických výpočtů je závislost hodnot přerozdělovacích napěťových koeficientů na stupni vyztužení ocelobetonového průřezu.

Klíčová slova

Modul pružnosti, ocelobetonový průřez, stupeň vyztužení, přerozdělovací napěťový koeficient.

Abstract

The paper presents the outputs of a computational parametric study investigating the influence of both reinforcement ratio and scheme of a cross-section reinforcement on a design value of the elastic module for the homogenized cross-section and the values of the stress redistribution coefficients. The design value of the elastic module represents the steel-concrete cross section in the calculations. The stress redistribution coefficients converts the state stress in the homogenized cross-section for the state stress in steel and concrete individually. The design value of the homogenized cross-section elastic module and the stress redistribution coefficients are determined from the theory of the cooperating rings and are computed by program HOMO. The result of a study is a set of the

¹ Doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 947, e-mail: karel.vojtasik@vsb.cz.

² Doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 973, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

³ Ing. Marek Mohyla, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: marek.mohyla.stl@vsb.cz.

³ RNDr. Jana Staňková Ph.D., Katedra matematiky a deskriptivní geometrie, Hornicko-geologická fakulta, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17 listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 324 127, e-mail: jana.stankova@vsb.cz.

stress redistribution coefficients and a dependency of stress redistribution coefficients on the reinforcement ratio of a steel-concrete section.

Keywords

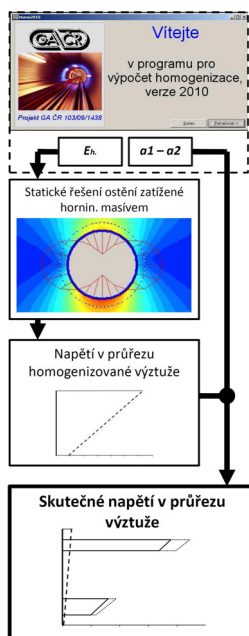
Module of elasticity, steel-concrete cross section, reinforcement ratio, stress redistribution coefficient.

1 ÚVOD

Ocelobetonový průřez je nejčastější formou primárních ostění podzemních děl prováděných sekvenčními metodami a je základní součástí Nové rakouské tunelovací metody. Ocelobetonový průřez tvoří jedna nebo několik vrstev stříkaného betonu, nanášených postupně s časovým odstupem, ocelové prvky - pruty různých typů (válcované, svařované) a ocelová mřížovina.

Ocelobetonová ostění podzemních děl jsou na rozdíl od železobetonových konstrukcí strukturou, jejíž průřez, geometrické i pevnostně přetvárné parametry se mění v závislosti na provedené konstrukční etapě a změnách modulu pružnosti tuhneoucího stříkaného betonu. Dalším jejich významným rysem je proměnlivost jejich geometrických parametrů: celková tloušťka ocelobetonového ostění; mocnosti dílčích konstrukčních vrstev stříkaného betonu; umístění ocelových prutů a ocelové mřížoviny v průřezu. Proměnlivost geometrických parametrů ocelobetonových průřezů plyne z objektivních příčin (například nadvýlomu) nebo subjektivních příčin, například dosažené přesnosti mocnosti konstrukční vrstvy stříkaného betonu a přesnosti umístění ocelových prutů a ocelové mřížoviny v profilu průřezu.

Článek je věnován zkoumání vlivu umístění ocelových prvků v profilu průřezu ocelobetonového ostění na hodnotu modulu pružnosti homogenizovaného průřezu a na hodnoty přerozdělovacích napětíových koeficientů a_1 (vnitřní poloměr prstence) a a_2 (vnější poloměr prstence). K analýze je užita metoda spolupracujících prstenců (Aldorf, 2009; Vojtasík, 2010) – výpočetní program HOMO, která vychází z analytického modelu pro výpočet napětí-deformačního stavu ve vícevrstevném kruhovém prstenci (Bulytchev, 1982). Stanovení napětí v ocelobetonovém průřezu se provádí dle schématu, viz obr. č. 1.



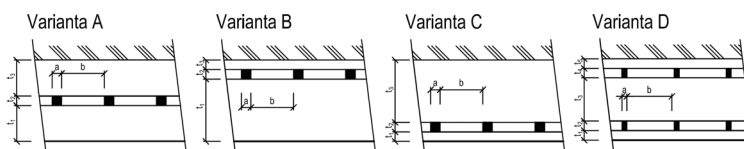
Obr. 1 Postup stanovení napětí v ocelobetonovém průřezu

2 ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Umístění ocelových prvků v profilu ocelobetonového průřezu může mít mnoho variant. Pro tuto parametrickou studii byly zvoleny dvě nejčastější situace rozmístění ocelových prvků v ocelobetonovém průřezu.

V první situaci jsou ocelové prvky umístěny v jedné úrovni. Pro tuto situaci jsou uvažovány tři varianty, které se navzájem liší polohou umístění ocelových prvků v profilu průřezu (viz obr. 2 varianty A, B, C). Ve variantě A jsou ocelové prvky umístěny uprostřed průřezu. Ve variantách B a C, jsou ocelové prvky posunuty k hranicím průřezu. Ve variantě B poloha ocelových prvků je blíže k hranici průřezu s horninovým prostředím, ve variantě C je poloha ocelových prvků blíže k vnitřní hranici průřezu.

Druhou nejčastější situací je umístění ocelových prvků ve dvou úrovních paralelně s hranicemi průřezu (viz obr. 2 varianta D).



Obr. 2 Rozmístění ocelových prvků v průřezu

Dalším proměnným parametrem je stupeň vyztužení ocelobetonového průřezu, tj. poměr ploch součtu všech ploch ocelových prvků k ploše betonové části průřezu. Hodnoty stupně vyztužení, pro průřez o rozměrech šířka 1,0 m a výška 0,17 m jsou 0,03; 0,015; 0,005; 0,002 a 0,001. U všech řešených variant je zachována konstantní výška ocelových prvků, která je 0,01 m. Změny stupně vyztužení je dosaženo změnou šířky jednotlivých ocelových prvků (a) a změnou jejich roztečí (b).

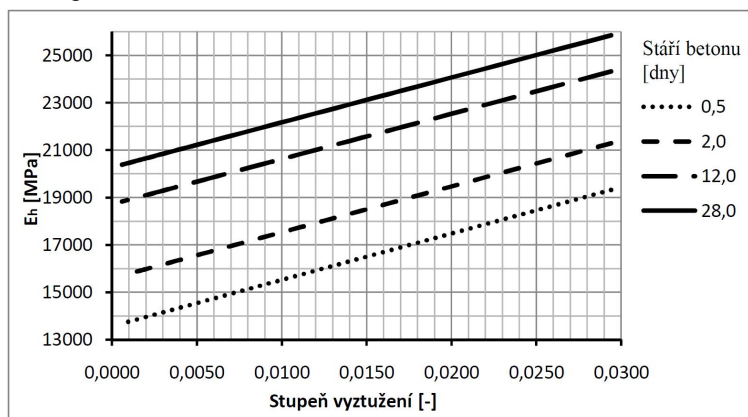
Je rovněž zkoumána závislost, kdy je stejného stupně vyztužení dosaženo různým počtem ocelových prvků, tj. menší počet ocelových prvků o větší šířce (a) s jejich větší roztečí (b), nebo větší počet ocelových prvků o menší šířce (a) a s jejich menší roztečí (b).

Posledním proměnným parametrem je modul pružnosti stříkaného betonu, který závisí na čase.

3 VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

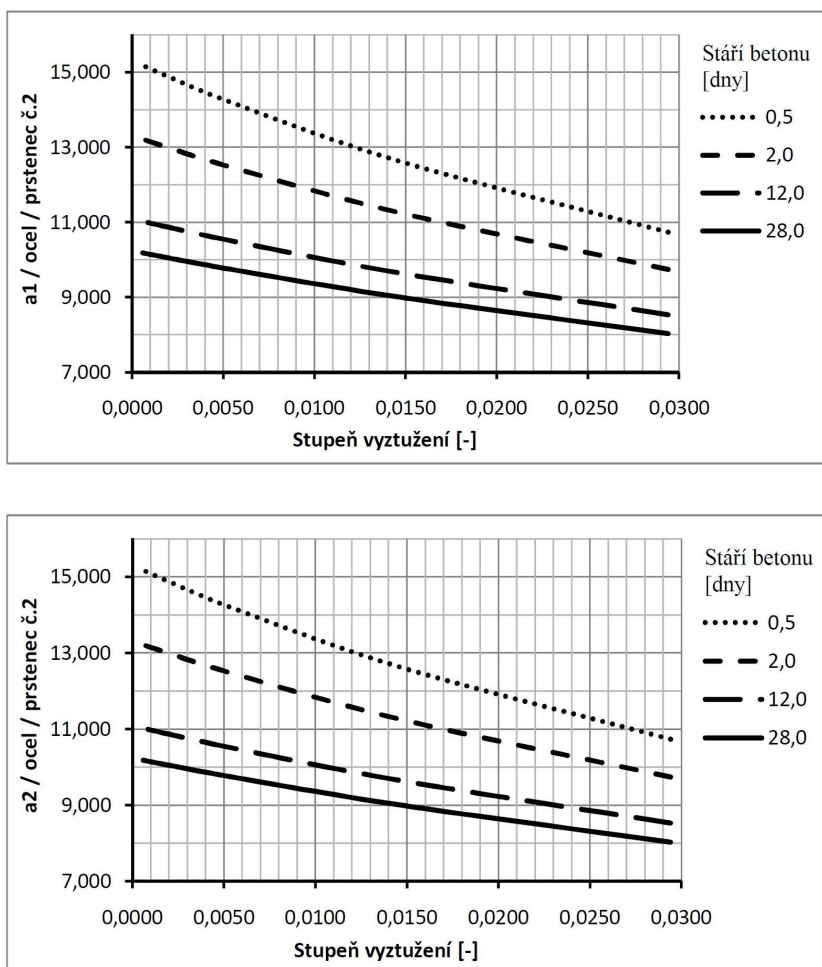
Výsledky řešení jsou zpracovány, shrnuty a prezentovány grafy na následujících obrázcích.

Obrázek č. 3 uvádí hodnoty pružnosti homogenizovaného průřezu v závislosti na stupni vyztužení průřezu v čase pro variantu A.



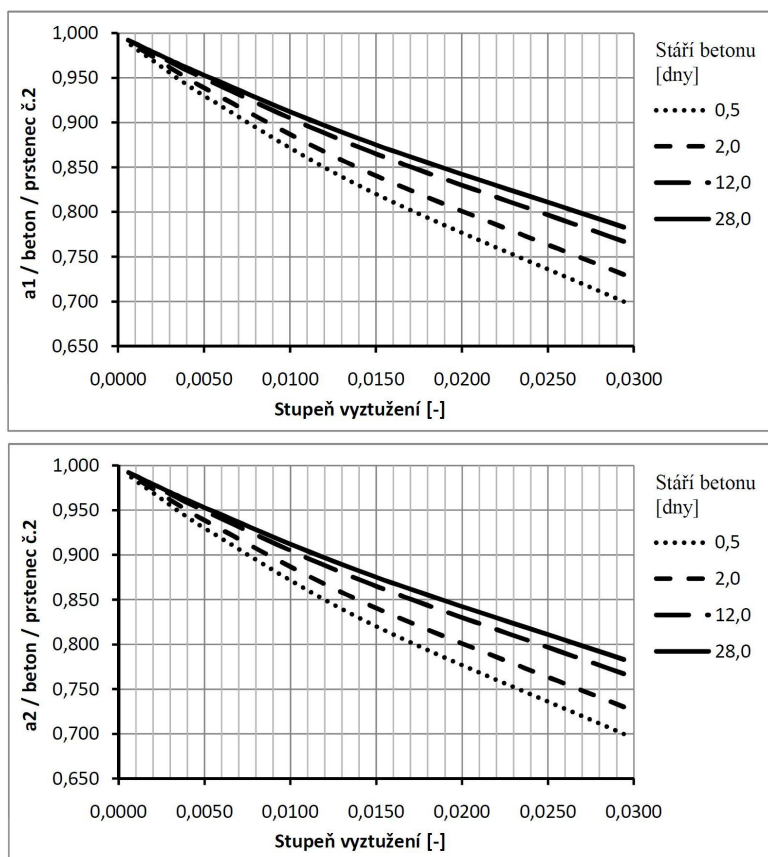
Obr. 3

Obrázek č. 4 uvádí hodnoty přerozdělovacích napěťových koeficientů a_1 a a_2 pro ocelové prvky v závislosti na stupni vyztužení průřezu v čase pro variantu A.



Obr. 4

Obrázek č. 5 uvádí hodnoty průřezových napěťových koeficientů a_1 a a_2 pro vrstvu stříkaného betonu mezi ocelovými prvky v závislosti na stupni vyztužení průřezu v čase pro variantu A



Obr. 5

Analogické výsledky a průběhy závislostí jsou získány i pro všechny další řešené varianty.

Hodnoty modulu pružnosti homogenizovaného ocelobetonového průřezu a hodnoty průřezových napěťových koeficientů a_1 a a_2 pro vrstvy, ve kterých jsou umístěny ocelové prvky, jsou shrnuty v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1

Varianty	Stáří [dny]	E_h [MPa]	prstenec č.2				prstenec č.4			
			beton		ocel		beton		ocel	
			a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
A	0,5	16400	0,823	0,823	12,622	12,620	-	-	-	-
	2,0	18500	0,843	0,843	11,248	11,246	-	-	-	-
	12,0	21500	0,867	0,867	9,644	9,642	-	-	-	-
	28,0	23000	0,877	0,877	9,002	9,000	-	-	-	-
B	0,5	16600	0,817	0,817	12,625	12,620	-	-	-	-
	2,0	18600	0,838	0,838	11,261	11,256	-	-	-	-
	12,0	21600	0,863	0,863	9,664	9,660	-	-	-	-
	28,0	23200	0,873	0,873	9,024	9,020	-	-	-	-
C	0,5	16300	0,829	0,830	12,640	12,642	-	-	-	-
	2,0	18300	0,849	0,850	11,256	11,257	-	-	-	-
	12,0	21400	0,873	0,873	9,642	9,643	-	-	-	-
	28,0	23000	0,882	0,883	8,997	8,998	-	-	-	-
D	0,5	16400	0,823	0,823	12,721	12,715	0,825	0,826	12,551	12,553
	2,0	18500	0,844	0,844	11,336	11,331	0,846	0,846	11,186	11,188
	12,0	21500	0,868	0,868	9,719	9,714	0,870	0,870	9,592	9,593
	28,0	23100	0,878	0,878	9,072	9,067	0,879	0,880	8,954	8,950

4 ZÁVĚR

Výsledky provedené parametrické studie, zkoumající vliv umístění ocelových prvků v ocelobetonovém průřezu na modul pružnosti a přerozdělovací koeficienty k stanovení napjatosti v ocelobetonovém průřezu, lze shrnout do následujících poznatků:

- s vyšším stupněm vyztužení se zvyšuje modul pružnosti ocelobetonového průřezu
- s růstem modulu pružnosti stříkaného betonu v čase klesají hodnoty přerozdělovacích koeficientů ocelových prvků a naopak mírně se zvyšují hodnoty přerozdělovacích koeficientů pro stříkaný beton
- způsob vyztužení – rozmístění ocelových prvků v ocelobetonovém průřezu takřka neovlivňuje hodnoty přerozdělovacích napětových koeficientů jak ve vrstvách stříkaného betonu, tak v ocelových prvcích. Jsou zde patrné jen malé odchylky mezi situacemi s jednou a dvěma úrovněmi umístění ocelových prvků v ocelobetonovém průřezu. Žádné, nebo jen malé rozdíly v hodnotách přerozdělovacích napětových koeficientů neznamenaají, že ve vrstvách stříkaného betonu, nebo v ocelových prvcích budou hodnoty napětí pro různé způsoby rozložení ocelových prvků identické. Přerozdělovacími koeficienty jsou násobeny hodnoty napětí v homogenizovaném průřezu, jehož průběh napříč průřezem není konstantní.

Poslední poznatek je velmi zajímavý. Vyplývá z něho, že by bylo možné stanovovat stav napětí v ocelobetonových průřezích pouze na základě stupně vyztužení průřezu a modulu pružnosti stříkaného betonu. Pokud by se tento poznatek prokázal a ověřil v praxi, pak by bylo možné na jeho základě z teorie spolupracujících prstenců vypracovat jednoduchou operativní metodiku navrhování a posuzování ocelobetonových průřezů.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního příspěví Grantové agentury ČR, projekt 103/09/1438 Výzkum pevnostních a přetvárných vlastností ostění ze stříkaného betonu vyztužených tuhými ocelovými prvky.

Příspěvek byl součástí řešení Studentské grantové soutěže SP2011/37, určené k podpoře doktorandského studia p. Ing. Marka Mohyly.

LITERATURA

- [1] Bulytchev, N. C. *Mechanika podzemnych sooruzenij*. (1982) Moskva: NEDRA, 270
- [2] ALDORF, J., HRUBEŠOVÁ, E., VOJTASÍK, K., ĎURIŠ, L. *Alternativní výpočet tuhosti betonového ostění vyztuženého válcovými prvky*. Informace Českého svazu stavebních inženýrů, ročník XV. (2009), č. 1, 27-31. ISSN 1213-4112.
- [3] VOJTASÍK, K., HRUBEŠOVÁ, E., MOHYLA, M., STAŇKOVÁ, J. *Determination of development of elastic modulus value for primary steel concrete reinforcement according to cooperative-ring-exchange theory*. Proc. 11th Int. Conf. Underground Construction Prague 2010, Prague: Czech Tunnelling Association ITA-AITES, 802-804. ISBN 978-80-254-7054-1
- [4] VOJTASÍK, K., HRUBEŠOVÁ, E., MOHYLA, M., STAŇKOVÁ, J. *Určení přetvárných vlastností a stavu napětí v průřezu ocelobetonového ostění*. TUNEL 2010, roč. 19, čís. 4, s 68-74. ISSN 1211-0728

Oponentní posudek vypracoval:

doc. Ing. Petr Konečný, CSc. Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.

Ing. Jiří Pechmann, Amberg Engineering Brno, a.s.